

面向 2035 的多模态智慧网络技术发展路线图

李军飞, 胡宇翔, 伊鹏, 邬江兴

(中国人民解放军战略支援部队信息工程大学信息技术研究所, 郑州 450002)

摘要: 当前互联网的基础架构与技术体系, 在智慧化、多元化、个性化、高鲁棒、高效能等方面面临重大挑战, 亟需变革网络基础架构并构建全维可定义的多模态智慧网络。本文在研判国内外网络技术领域发展态势的基础上, 提出了多模态智慧网络技术的发展目标并凝练形成关键前沿技术预见清单, 据此构建了面向 2035 年的我国多模态智慧网络技术发展路线图。研究表明, 应前瞻布局网络架构、寻址与路由、网络全维可定义、网络智慧化、网络鲁棒控制等关键技术研发, 以核心芯片、产品、系统等为核心内容来引导相关产业发展; 可重点部署面向信息基础设施、垂直行业网络、天地一体化、人机物泛在互联的示范工程建设, 以推动智慧网络业务落地实施。此外, 从政策保障、科研平台支撑与联合攻关、扩大国际交流、人才培养与引进等方面提出了我国多模态智慧网络技术的保障措施建议。

关键词: 智慧网络; 多模态; 体系架构; 全维可定义; 鲁棒控制; 技术路线图

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

Development Roadmap of Polymorphic Intelligence Network Technology Toward 2035

Li Junfei, Hu Yuxiang, Yi Peng, Wu Jiangxing

(Institute of Information Technology, PLA Strategic Support Force Information Engineering University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The current infrastructure and technology system of the Internet are facing major challenges in terms of intelligence, diversification, personalization, robustness, and efficiency. It is urgent to change the network infrastructure and build a polymorphic definable and intelligent network. This paper studies and judges the development trend of network technologies in China and abroad, proposes the development goal of polymorphic definable and intelligent network, and extracts a list of key cutting-edge technologies for foresight. Based on these, the development roadmap of polymorphic definable and intelligent network in China for 2035 is constructed. China should prospect the research and development of key technologies including network architecture, addressing and routing, full-dimensional definability, network intelligence, and network robust control, and guide the development of relevant industries through the key contents including core chips, products, and systems. Demonstration projects can be deployed to promote the implementation of intelligent network business, including projects concerning information infrastructure, vertical industry network, space-earth integrated network, ubiquitous interconnection of human and things. In addition, this paper proposes some suggestions on the guarantee measures of polymorphic definable and intelligent network in China from the aspects of policy guarantee, scientific research platform support and joint research, international communication expansion, and human resource cultivation and employment.

Keywords: intelligence network; polymorphic; network architecture; full-dimension definable; robust control; development roadmap

收稿日期: 2019-05-09; 修回日期: 2019-08-12

通讯作者: 胡宇翔, 中国人民解放军战略支援部队信息工程大学信息技术研究所研究员, 研究方向为新型网络体系架构与核心技术;
E-mail: chxachxa@126.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“面向 2035 的‘互联网+’时代的网络智慧管理战略研究”(2016-ZCQ-04)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

随着信息通信网络技术的不断发展，互联网已成为与国民经济和社会发展高度相关的重要基础设施。互联网与人类社会生活深度融合，用户对互联网的使用需求从简单的端到端模式转变为对海量内容的获取，并发展出移动互联网 [1]、物联网 [2]、云计算 [3] 等新模式。随着互联网终端类型、接入方式的不断发展 [4]，人-人、人-机、机-机、网-网通信等将成为常态 [5]，这也亟需互联网为海量业务提供更多元、个性、高效的服务 [6]。

面对上述需求的演进变化，现有互联网的技术内涵与外延发展却不平衡、不充分，存在网络结构僵化 [7]、IP 承载单一 [8]、未知威胁难以抑制 [9~11] 等基础性问题，无法满足泛在场景下用户对高质量用网体验的需求。然而，新型网络已成为全球互联网发展的竞争焦点，美国、欧盟、日本等国家和地区已抢先在该领域开展顶层布局，并加强基础研究和产业创新。我国也明确将“加快构建高速、移动、安全、泛在的新一代信息基础设施”列为重要任务 [12]。

当前，在推动互联网增量式部署和演进式发展的同时，充分吸收和利用新思路、新方法，对互联网技术体系进行基础性变革，构建面向 2035 年的新型网络体系架构和技术体系，将成为大势所趋。在面向 2035 年的需求牵引下，通过加强网络技术创新，促进技术研发由外挂式向内生性转变，以全维可定义的全新开放架构适配业务需求，吸收整合新兴技术助力网络发展，构建具有智慧化、多元化、个性化、高鲁棒、高效能的多模态智慧网络，为用户提供新服务、新智慧和新安全，支撑网络的智慧化传输、管理和运维，增强网络“高可信、高可用和高鲁棒”的三位一体服务 [13]。

二、全球网络技术发展态势

近年来，世界网络强国或地区纷纷加强对新型网络技术的顶层设计和战略部署，力争在新一轮科技和产业竞争中占据优势。

(1) 美国不断发布相关发展计划或战略以引导网络技术的发展方向。例如，先后启动了规模宏大的网络创新全球环境 (GENI)、未来互联网设

计 (FIND)、未来互联网大会 (FIA) 等计划，并于 2016 年启动“网络与信息技术研发计划”(NITRD)，将大容量计算及基础设施、大规模数据管理与分析 (LSDMA)、机器人与智能系统 (RIS)、网络安全与信息保障 (CSIA)、软件设计与生产 (SDP) 等作为研发重点。2018 年，白宫正式发布《美国国家网络战略》，概述了美国网络的 4 项支柱、10 项目标与 42 项优先行动，以维持美国在网络架构与技术领域的领导地位。

(2) 欧盟将保持科技和产业竞争优势的发展重点聚焦在信息网络领域，先后启动了未来网络 (Future Internet) 和未来互联网实验与研究计划 (FIRE+)，资助相关研究累计超过 400 余项。同时，欧盟发布“地平线 2020 (Horizon 2020)” 科研计划，关注重点包括下一代计算技术、未来互联网技术和服务、内容的技术和信息管理、先进机器人以及机器人智能空间、信息与传播技术和关键使能技术。2017 年，国际电信联盟 (ITU) 成立网络 2030 焦点组 (Focus Group on Network 2030)，旨在探索面向 2030 年及未来的网络架构新技术发展。

(3) 日本先后启动新一代网络 (NWGN) 和新一代互联网试验平台 (JGN2+) 计划，并提出泛在战略 (U-Japan)，即建设泛在的物联网。日本发布《科学技术创新综合战略 2016》聚焦超智能社会建设，综合部署人工智能 (AI)、设备系统、应用的研究与产业化。

(4) 韩国提出为期 10 年的国家信息化战略 (U-Korea)，将信息网络确定为韩国的重点发展战略。

(5) 我国也高度关注和重视新型网络技术领域的发展。近年来，以《国家信息化发展战略纲要》《创新驱动发展战略》《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》等重大战略规划为引领，不断完善顶层战略布局。例如，2018 年《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年计划的建议》中明确提出实施网络强国战略以及与之密切相关的“互联网+”行动计划。同年，科技部启动国家重点研发计划“宽带通信和新型网络”重点专项，指出力争在 2022 年之前，在具有自主知识产权的芯片、一体化融合网络、高速光通信设备、未来无线移动通信等方面取得一批突破性成果，掌握自主知识产权，制定产业标准，开展应用示范，打造完善的产业协同创新体系。

三、多模态智慧网络技术发展路线图

在明确新型网络技术发展需求的基础上,本文讨论多模态智慧网络技术发展的总体战略目标和分阶段实施目标,从技术研发布局、核心产品与产业发展、示范建设工程及应用等方面进行前瞻布局,探讨多模态智慧网络技术发展所需的战略支撑和保障条件,最终形成多模态智慧网络技术发展路线图(见图1)。

(一) 发展需求与目标

近年来,互联网的应用外延迅速拓展,“如何充分用好网络”的问题已基本解决。然而,面对互联网与经济社会深度融合带来的专业化服务承载需求,互联网技术内涵的发展却未能充分支撑网络应用外延的拓展,制约了其在更广更深层次上支撑经济社会发展。目前,互联网的主要发展需求凝练如下。

(1) 网络空间不断充实和扩大,面向人-网-物三元的万物互联需求激增,大融合、大连接、大数据、新智能等逐步渗透至信息网络的各个方面。新型网络需满足多元化的万物互联需求,并为其提供海量数据的高效处理服务。

(2) 工业、电子消费、汽车和医疗等领域对新型网络设备与系统的市场需求持续扩大,垂直行业领域要求新型网络能够支持专业化、定制化的服务。

(3) 认知计算、大容量存储及高速传输等新技术的出现与快速发展,提升了网络平台的资源和能力,促进了网络技术的创新发展,充分利用网络资源,为用户提供更好的用网体验。

(4) 信息化与网络安全的“一体两翼、双轮驱动”发展模式,要求新型网络在技术创新与演进过程中兼顾网络的服务质量和安全性,引入内生安全机制来提供高可靠网络服务。

基于上述需求分析,今后多模态智慧网络技术发展的总体战略目标为:①以承接国家战略为导向,聚焦网络结构僵化、IP承载单一、未知威胁难以抑制等基础性问题,建立可增量部署的新型网络架构及技术体系;②形成系列化国内外标准规范和专利群,为构建“智慧高效、安全可信”的新型网络基础设施提供一套具有相当国际影响

力的“中国方案”,力争引领我国新型网络架构与核心技术实现突破性发展;③助力孵化具有国际竞争力的创新型企业,培育覆盖前沿理论、工程技术、系统测试和产业应用的科研平台和团队,为我国网络强国战略的实施提供相应的核心技术与能力支撑。

统筹考虑新型网络技术的发展潜力、建设规模以及成本降低潜力等因素,结合国家网络技术发展和建设需求,确定多模态智慧网络技术发展的阶段性目标和时空布局,具体如下。

(1) 2020—2025年,建立多模态智慧网络总体架构并明确其核心运行逻辑,研制原理验证系统,建立多模态智慧网络的技术体系,形成多模态智慧网络测试评估机制和标准规范,初步形成涵盖科学研究、技术开发、设备制造和网络运营的多模态智慧网络技术与产业生态环境。

(2) 2025—2030年,完成多模态智慧网络核心芯片/设备/系统研制,完成试验网络建设并提供应用示范;完成多模态智慧网络核心部件与设备/系统的产业布局,并在典型网络环境中推广应用。

(3) 2030—2035年,以增量部署的形式,推动我国信息基础设施建设向多模态智慧网络方向发展,逐步在基础设施核心网络、数据中心网络、行业网络以及其他典型应用环境中部署应用,形成协同共进的技术和产业发展生态环境;多模态智慧网络技术和产品开始普惠民生,产生显著的经济效益和社会效益。

(二) 关键技术研发布局

1. 多模态智慧网络架构方面

①针对信息网络的智慧化、多元化、个性化、高鲁棒、高效能等发展需求,打破传统网络僵化的刚性架构,通过将“网络功能定义”由最上层深入到最底层,构建全维可定义的开放网络架构。②依据全方位解构和全要素开放的思想,对网络功能的基本元素重新进行认知与提炼;同时,基于网络虚拟功能服务的思想,池化网络资源,提高部署业务的灵活性和高效性,进一步提高资源的利用率。③吸收利用新型技术助力网络发展,将内生安全和AI技术嵌入到多模态智慧网络体系中,打造全方位鲁棒和智慧的架构体系。④基于开放融合的思想,构建以“全维可定义、多模态寻址与路由、网络智

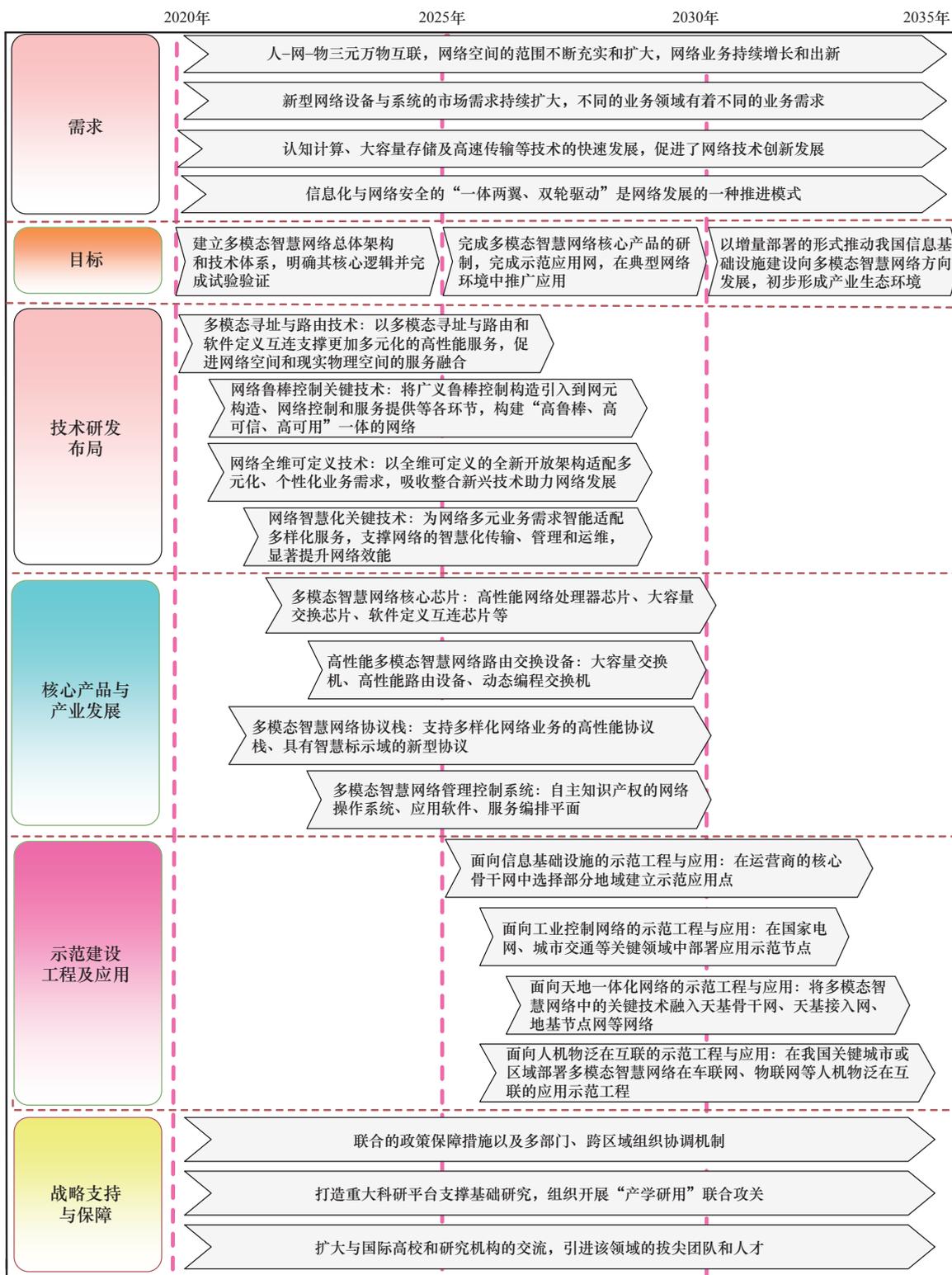


图 1 多模态智慧网络发展技术路线图

慧化、内生安全构造”为核心的多模态智慧网络技术体系，通过网络结构的自组织和业务的自适应来满足未来网络业务高效率、智慧化、高可靠、低时

延与内生安全的发展需求，使网络具备开放可扩展、可增量部署和异构融合等能力，支持网络按需重构以及新业务的快速部署，为新型网络发展提供持续

演进动力。

2. 多模态寻址与路由技术方面

①针对多模态异构标识寻址与路由技术, 研究支持 IP、地理空间、内容、身份等的多模态异构标识寻址与路由技术, 支持与现有网络地址的兼容; ②研究多种模态寻址路由间的互联互通技术, 支持面向用户端到端传输需求的寻址路由模态间的智能切换; ③研究支持多种模态寻址的统一查表与转发技术, 支持寻址模态的扩展和可定义; ④研究支持广域网络的实时状态感知、编程控制和终端接入标识管理等机制; ⑤研究基于全维可定义平台的多模态协议定义与适配技术, 支持软件定义的协议栈结构和动态适配, 实现多模态协议栈的跨平台支持; ⑥针对用户业务传输需求, 研究多模态寻址路由的智慧协同机制, 由网络自动选择最优的路由模态进行传输。

3. 网络全维可定义技术方面

①研究数据层电路 / 分组双模交换技术的融合协同机制, 支持业务和服务的自动适配, 为用户提供更多选择和更好体验; ②研究基于资源池化与精细粒度的 IP 网络与光网络协同架构, 构建多种机制融合的协同解决方案; ③研究软硬件协同的数据层处理架构、开发语言和前后端交叉编译等机制, 实现高效能数据处理; ④研究有线 / 无线多模信道接入、动态 / 静态多模信道接入等技术, 支撑多模态智慧网络应用场景的空、天、地、海全覆盖; ⑤研究数据层的关键处理模块, 如软件定义包解析、软件定义适配动作等的设计结构和算法, 形成 IP 核; ⑥研究软件定义互连协议、交换结构、分组处理技术, 研究拓展协议无关转发的数据层抽象处理模型, 优化软件定义的数据包处理逻辑流程; ⑦研究网络软件定义测量感知技术, 提供细粒度可定制的精细化网络感知能力, 为多模态智慧网络智慧平面提供支撑。

4. 网络智慧化关键技术方面

①研究基于 AI、大数据分析等的网络智慧化机制, 支持“感知 - 决策 - 适配”一体设计, 支持网络的智能感知、自主决策、自动执行; ②以提高业务质量一致性为驱动, 研究基于用户体验的网络资源全局协调控制技术; ③研究业务智能适配的服务承载技术, 设计高效、可靠的智能传输优化机制, 实现网络资源的快速拟合; ④建立强变时空尺度特

性的网络模型, 研究复杂情景到网络模型的数学拟合方法, 支持基于情景拟合的资源智能适配; ⑤研究业务分布与网络资源等深度感知技术和网络情景视图的邻域继承机制, 实现高层感知语义的统一描述体系; ⑥研究网络传输智能优化技术, 实现全网结构性拥塞避免, 实现基于用户体验的网络资源全局协调控制。

5. 网络鲁棒控制关键技术方面

①针对网络节点或链路随机性失效、网元系统包含漏洞后门等不确定因素, 研究网络广义鲁棒控制机理、形式化描述方法和评价方法; ②在网络体系结构层面引入动态化、异构化、冗余化及动态重构等机制, 研究基于闭环负反馈控制的网络鲁棒构造架构; ③研究网络地址、拓扑、路由等网络要素的动态化、随机化、异构化方法; ④基于鲁棒控制构造的不确定性呈现, 研究动态随机调度、相异性设计、输出矢量策略判决等关键技术; ⑤在典型网络设备环境上开发相应系统, 研究如何在数据、平台、网络、运行环境等层面上有效配置实施鲁棒控制机制, 构建“高可靠、高可信、高可用”三位一体的新型鲁棒网络。

(三) 核心产品与产业发展

研发多模态智慧网络的核心芯片 / 产品 / 系统, 引导相关产业快速发展并形成较强竞争力, 助力孵化具有国际竞争力的创新型企业, 培育覆盖前沿理论、工程技术、系统测试和产业应用的平台和团队。

1. 核心芯片方面

研发应用于全维可定义网络数据平面的路由器 / 交换机系统关键芯片, 包括高性能网络处理器芯片、高速无阻塞大容量交换芯片; 研究芯片的智能缓存算法, 提高芯片的缓存利用率, 并进一步降低功耗; 研究核心芯片的大容量流表数据结构及高效率查找算法, 使网络设备能够以较低成本支持大规模的流表规则集, 提升网络设备分组处理能力。

2. 高性能网络路由交换设备方面

研制超大容量无阻塞以太网交换机, 支持多机架互联组建堆叠系统线性扩展设备容量; 研制多模态智慧网络路由器设备, 支持未来网络高容量数据转发的需求, 具备集群扩展能力; 研制支持多模态统一寻址的新型路由设备, 支持扩展和定义多模态的路由寻址方式; 研制支持网络虚拟化业务的高动

态编程交换机，交换机处理逻辑可动态编程，可同时支持多个不同的业务处理逻辑，具备独立控制平面、转发平面和监控平面，提高网络的鲁棒性。

3. 网络协议栈方面

研发适配于多样化网络业务的高效能多模态协议栈，支持网络服务的个性化定制，兼顾协议处理的灵活性和高效性；研制多协议共存的协议标准，支持跨平台、跨媒介的数据路由与转发，支持多模态协议的快速转化；研发具有智慧标识域的新型协议，支持数据智能路由和网络智能运维；研发基于通用计算平台的高性能网络协议栈，支持数据包跨内核处理，支持网络处理性能随中央处理器（CPU）多核平行扩展，支持多网络业务，支持与传统网络业务的完全兼容，大幅提高网络吞吐率并降低网络处理延迟。

4. 网络管理控制系统方面

研发运营商级的多模态智慧网络管理控制系统，支持全网的统一管理、智能调度和数据分析，支持传统设备控制功能，兼容当前主流网络操作系统的框架，并适应控制平面未来技术演进；研发操作系统中多元化、智能化的中间件和应用软件，支持资源抽象与自动化运维管理，支持网络视图的分布式生成与一致性维护，支持全网故障与冲突自动检测等技术，形成多模态智慧网络发展的技术生态环境；研发资源管理编排平面，支持计算、存储、传输等资源的灵活调度、联合优化和综合管理等。

（四）示范工程建设及应用

多模态智慧网络技术能够积极推动传统产业转型升级，将万千应用与业务融入百姓生活，服务经济发展和社会民生，加快推进业务生态化、网络智能化、运营智慧化，打造智能连接、智慧家庭、物联网、互联网金融等业务生态圈。基于此，多模态智慧网络可在如下 4 个典型领域部署应用示范工程，以推动在支撑经济社会发展、普惠民众的典型业务中开展应用。

1. 面向信息基础设施 / 运营商网络的示范工程与应用

在运营商的核心骨干网中选择部分地域建立应用示范网络，开展多模态智慧网络的实施研究，验证对传统网络业务的支持能力，支持网络的快速升

级与扩容；部署多种多元化、个性化的新业务，开展新服务的深度测试，支持新业务的部署与多业务的融合；选择典型案例场景，开展网络智慧运维、用户移动性、网络鲁棒控制、网络虚拟化管理和虚拟化开通以及跨域、跨层业务的大客户业务快速定制能力等的应用示范，支持网络的智慧管理和多模态运行。

2. 面向垂直行业网络的示范工程与应用

在国家电网、城市交通、工业互联网等关键垂直行业网络中部署应用示范节点，针对其高鲁棒、多样化的需求开展研究测试，验证多模态智慧网络对多协议接入的兼容能力，支持自定义协议的多模寻址与路由；在特殊行业场景中验证多模态智慧网络对随机扰动和不确定性攻击的抵抗能力，支持网络的广义鲁棒控制；针对垂直行业互联中的多元化业务需求，开展多模态智慧网络的全维可定义平台应用，支持灵活高效地适配不同场景。

3. 面向天地一体化网络的示范工程与应用

针对国家战略需求，将多模态智慧网络技术融入天基骨干网、天基接入网、地基节点网等，与面向信息基础设施的示范网络互联互通，建设“全覆盖、广接入、可定制、高鲁棒”的天地一体化网络示范工程并开展应用。主要开展广 / 基带多模接入、私有协议转换、多类别用户智能管理、海量数据高速转发等方面的示范研究，支持广域时空范围的高可靠连续通信。

4. 面向人机物泛在互联的示范工程与应用

在我国关键城市或区域部署面向车联网、物联网等人机物泛在互联的应用示范工程，进一步激发新领域的创新活力，驱动新技术和社会经济的快速增长。开展多协议自组网、数据分布式协作等关键技术的研究与实验，将多模态智慧网络中的智能基因深度融合到泛在互联网中，支持节点与网络的智慧化管理和功能需求的自动适配。同时，在该应用示范中研究验证多模态智慧网络对新型网络技术和新网络业务需求的支撑能力，进一步挖掘技术创新点。

（五）战略支持与保障

结合新型网络技术发展的特点，针对我国基础前沿技术整体实力较弱、标准规范国际影响力较小、“产学研”结构分散等现状，提出如下战略支持和

保障措施。

1. 积极稳定的政策保障措施以及多部门、跨区域组织协调机制

按照《中共中央国务院关于深化体制机制改革加快实施创新驱动发展战略的若干意见》的要求,充分发挥市场在资源配置中起的作用和更好发挥政府作用,建立跨部门、跨区域的组织协调机制。建议由科学技术部牵头,协调财政部、工业和信息化部、教育部、中国科学院、中国工程院、国务院国有资产监督管理委员会等相关单位和部门,以部省联动推动相关研发任务,进行科学决策和规范管理。

2. 打造重大科研平台支撑基础研究,组织开展“产学研用”联合攻关

有机整合国内外优势科技资源,加强开放合作,统筹部署,建设面向新型网络领域的多学科交叉、汇聚一流人才的重大的科研平台,建立集中力量办大事的科学组织形式,致力于解决国家重大战略需求问题、行业重大科技问题、产业重大瓶颈问题,探索前沿基础原始创新,为开展自主创新的科研成果在国家和国防建设中落地提供重要支撑。

3. 扩大与国际高校和研究机构的交流,引进拔尖团队和人才

运用“引进来、走出去”的发展思路,积极扩大与国际高校、研究机构之间的交流和合作,吸收和转化先进成果,打破技术和体制壁垒,逐步缩小与发达国家或地区之间的技术差距。同时,注重人才团队的建设,形成长期有效的人才引进和培养机制。

四、结语

以开放架构软件定义网络/网络功能虚拟化(SDN/NFV)技术为基础,以AI发展为契机,以基线技术重塑为支撑,创建增量部署的演进发展模式,打造面向2035年的多模态智慧新型网络,推动我国通信网络技术由“跟跑”到“领跑”,实现由“通信产业大国”到“通信技术强国”的转变是新型网络技术创新的基本逻辑。本文针对信息网络的发展需求,结合国内外研究态势,研判了我国新型网络技术的发展趋势,并制定多模态智慧网络技术

发展路线图,供广大网络科技工作者参考。

参考文献

- [1] Liang K, Zhao L, Chu X, et al. An integrated architecture for software defined and virtualized radio access networks with fog computing [J]. *IEEE Network*, 2017, 31(1): 80–87.
- [2] Kaiwartya O, Abdullah A H, Cao Y, et al. Internet of vehicles: Motivation, layered architecture, network model, challenges, and future aspects [J]. *IEEE Access*, 2016, 4: 5356–5373.
- [3] Naranjo P G V, Pooranian Z, Shojafar M, et al. FOCAN: A fog-supported smart city network architecture for management of applications in the Internet of everything environments [J]. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 2019, 132: 274–283.
- [4] Akshatha N, Rai K H J, Hariharan M K, et al. Tactile Internet: Next Generation IoT [C]. *Coimbatore: 2019 Third International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*, 2019.
- [5] Rossini G, Rossi D. Evaluating CCN multi-path interest forwarding strategies [J]. *Computer Communications*, 2013, 36(7): 771–778.
- [6] Perry J, Ousterhout A, Balakrishnan H, et al. Fastpass: A centralized “zero-queue” datacenter network [J]. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 2014, 44(4): 307–318.
- [7] Zorzi M, Zanella A, Testolin A, et al. Cognition-based networks: A new perspective on network optimization using learning and distributed intelligence [J]. *IEEE Access*, 2015, 3: 1512–1530.
- [8] Xiao S H, He D D, Gong Z B. Deep-Q: Traffic-driven QoS inference using deep generative network [C]. *New York: Proceedings of the 2018 Workshop on Network Meets AI & ML*, 2018.
- [9] Wang L Y, Jajodia S, Singhal A, et al. k-zero day safety: A network security metric for measuring the risk of unknown vulnerabilities [J]. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 2014, 11(1): 30–44.
- [10] Suthaharan S. Big data classification: Problems and challenges in network intrusion prediction with machine learning [J]. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 2014, 41(4): 70–73.
- [11] Shahriar N, Ahmed R, Chowdhury S R, et al. Generalized recovery from node failure in virtual network embedding [J]. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 2017, 14(2): 261–274.
- [12] 新华网. 我国将加快构建高速、移动、安全、泛在的新一代信息基础设施 [EB/OL]. (2019-05-17) [2020-08-10]. http://www.xinhuanet.com/2019-05/17/c_1124510041.htm.
Xinhua Net. China will speed up the construction of a new generation of high-speed, mobile, secure and ubiquitous information infrastructure [EB/OL]. (2019-05-17) [2020-08-10]. http://www.xinhuanet.com/2019-05/17/c_1124510041.htm.
- [13] 郭江兴. 新型网络技术发展思考 [J]. *中国科学: 信息科学*, 2018, 48(8): 1102–1111.
Wu J X. Thoughts on the development of novel network technology [J]. *Scientia Sinica (Informationis)*, 2018, 48(8): 1102–1111.